Aus der Abteilung für Anaesthesiologie der Universität Würzburg
Vorstand: Professor Dr. K. H. Weis

Thema

ZUR ABHÄNGIGKEIT DES O_2-GEHALTES IM NARKOSEKREISSYSTEM VON DESSEN KONSTRUKTIVEM BAU

INAUGURAL-DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Gisela Oeking
aus Freiburg

Würzburg 1970

Aus der Abteilung für Anaesthesiologie der Universität Würzburg
Vorstand: Professor Dr. K. H. Weis

Thema

ZUR ABHÄNGIGKEIT DES O_2-GEHALTES IM NARKOSEKREISSYSTEM VON DESSEN KONSTRUKTIVEM BAU

INAUGURAL-DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Gisela Oeking
aus Freiburg

Würzburg 1970

Referent: Prof. Dr. med. K. H. Weis

Tag der Promotion:

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung	1
2.	Eigene Fragestellung	5
3.	Methodik	8
4.	Ergebnisse	10
5.	Diskussion	13
6.	Zusammenfassung	19
7.	Literatur	20
8.	Legenden, Abbildungen, Tabellen	22

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543519_0081

1. Einleitung

Vor 120 Jahren begann die Geschichte der modernen Narkose. Seit dieser Zeit wurden viele technische Probleme, die mit der Applikation gas- und dampfförmiger Narkosemittel verbunden sind, befriedigend gelöst.

Zu Beginn großer Fortschritte in der Narkosetechnik stand die sogenannte "Schimmelbuschmaske". Sie wurde für die Äther-und Chloroformtropfnarkose angewandt. Heute verfügen die Anaesthesisten über komplizierte Narkosemaschinen, die eine differenzierte Beatmung des Patienten während der Narkose ermöglichen. Daneben besitzen sie heute außer den ursprünglich angewandten narkotisierenden Dämpfen und Gasen noch wesentlich wirksamere Narkotika wie z. B. Halothan und Methoxyfluoran. Zu den jüngsten Entwicklungen zählen die in Volumenprozenten geeichten Verdunster, mit deren Hilfe sich diese potenten dampfförmigen Narkotika exakt dosieren lassen.

Die "moderne" Narkose läßt sich weitgehend individuell auf den Patienten und auf die durchzuführende Operation abstimmen und verschafft damit dem Operateur günstige Arbeitsbedingungen, wie sie früher nicht realisierbar waren, und dem Patienten ein hohes Maß an Sicherheit. Dies gelingt durch eine Kombination von verschiedenen, spezifisch wirkenden Pharmaka: Intravenöse Narkosemittel mit Inhalationsnarkotika, Muskelrelaxantien, Neuroleptika, Analgetika, Antiemetika und Ganglioplegika. So haben sich die Möglichkeiten differenziert und die Narkosetechniken wesentlich verbessert.

Dennoch steht die früher ausschließlich angewandte Inhalationsnarkose nach wie vor im Mittelpunkt der Narkosetechnik. Ihre Durchführung erfolgt heute mittels Narkosesystemen, die sich nach ihren technischen Bauprinzipien in 2 große Gruppen gliedern lassen:

1.1. Ventillose Systeme

1.2. Mit Ventilen ausgestattete Systeme

Bei den mit Ventilen ausgestatteten Narkosesystemen wird der Gasfluß innerhalb des Systems gerichtet.

ad 1.1. Zu dieser Gruppe gehört die altbewährte Schimmelbuschmaske. Als nachteilig erweist sich hierbei, daß die angebotene Konzentration des Narkosemittels nicht bekannt ist. Die Narkosetiefe läßt sich nur nach klinischen Zeichen beurteilen und steuern. Auch wird zwangsläufig mit dem Narkosemittel verschwenderisch umgegangen, da sich der wieder ausgeatmete Anteil mit der Raumluft mischt und somit verloren geht.

Weiterhin sind an dieser Stelle das Ayre'sche T-Stück (Abb.1) und dessen technische Variationen zu nennen. Über den einen Schenkel wird das Frischgas zugeleitet, mit dem zweiten Schenkel ist der Patient verbunden und über den dritten Schenkel des T-Stückes strömt das ausgeatmete Gas mit Frischgas vermischt aus dem System. Um bei diesem Prinzip ein Rückatmen von CO_2 zu verhindern, muß ein hoher Frischgaszustrom, der ein Vielfaches des Atemminutenvolumens beträgt, zugeführt werden. Das expirierte Narkosegas geht hier ebenfalls in die umgebende Raumluft verloren.

ad 1.2. Charakteristisch für diese Geräte ist eine weitgehende Trennung von Inspirations- und Expirationsgas im System durch eingebaute Ventile. Im einzelnen gehören folgende Systeme hierher:

1.2.1. Das Magill-System (Abb.2). Dieses System besteht aus einem Atembeutel, einem Faltschlauch und der Frischgaszuleitung. Es nimmt in dieser Gruppe insofern eine Sonderstellung ein, als durch das eingebaute Überdruckventil nicht eine Trennung von Ein- und Ausatemgemisch erfolgt. Die Menge des zufließenden Frischgases und die Größe des variablen Widerstandes im Überdruckventil entscheidet, wieviel Ausatemgas durch das Ventil in die Umgebung entweicht und wieviel in den Atembeutel zurückgeatmet wird. Auch hier muß ein hoher Frischgasstrom zum Verhindern der CO_2-Rückatmung eingestellt werden.

1.2.2. Das Einwegsystem (Abb.3). Als Prototyp kann das Rubenventil gelten. Die eingebauten Ventile bewirken, daß der Patient nur das von der Narkosemaschine her einströmende Frischgas einatmet, während das Ausatemgas in die Raumluft abgeleitet wird. Durch ein Ventil wird das Zurückfließen von ausgeatmetem Gas in die Einatemseite des Systems verhindert. Auch hier geht sehr viel Narkosegas verloren. Das Einwegsystem wird hauptsächlich bei Kindernarkosen benutzt, weil dabei kleine Gasvolumina benötigt werden.

1.2.3. Kreissysteme (Abb.4). Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Systemen wird bei dieser Konstruktion das Ausatemgemisch des Patienten nicht ungenutzt in die umgebende Raumluft abgeleitet, sondern gelangt durch den kreisförmigen Bau wieder in den Einatemteil des Systems. Auf seinem Weg wird es dabei von der anfallenden Kohlensäure befreit und mit Frischgas angereichert. Dadurch besteht die Möglichkeit, große Mengen der zum Teil recht teuren Narkosemittel einzusparen.

Die wesentlichen Bestandteile eines Kreissystems sind das Inspirationsventil, das Expirationsventil,

ein CO_2-Absorber sowie die Frischgaszuleitung. Außerdem ist ein Überdruckventil vorhanden, durch welches überschüssiges Gasgemisch nach außen entweichen kann. Sein Öffnungsdruck ist regulierbar und wird in cm H_2O gemessen. Hierdurch wird eine manuelle oder maschinelle Überdruckbeatmung möglich.

Das Kreissystem läßt sich als geschlossenes System und als halbgeschlossenes System benutzen. Bei einer geschlossenen Funktionsweise wird nur das Gas durch Frischgas ersetzt, welches der Patient dem System entnimmt. Nach Erreichen einer gleichmäßig tiefen Narkose entspricht dies nur noch dem Sauerstoffbedarf des Patienten, da von den Narkosegasen nur unwesentliche Mengen in den Stoffwechsel eingehen. Voraussetzung für das Funktionieren eines geschlossenen Systems sind absolut dichte Verbindungen, sodaß keine Verlußte nach außen auftreten können. Eine präzise Berechnung des O_2-Bedarfs des Patienten und eine ständige Überwachung des Sauerstoffgehaltes im Inspirationsgas ist notwendig. Der Vorteil des geschlossenen Systems ist seine hohe Wirtschaftlichkeit. Häufiger wird das Kreissystem jedoch in halbgeschlossener Funktionsweise benutzt. Hierbei werden dem System ständig Frischgase im Überschuß zugeführt, wodurch ein ausreichendes und gleichmäßiges O_2-Angebot für den Patienten gewährleistet ist. Das überschüssige Gas im System entweicht durch das regulierbare Überdruckventil nach außen.

Während bei den Einwegsystemen das Einatemgemisch des Patienten nur aus frischen Gasen besteht (das Totraumvolumen bleibt hier unberücksichtigt), bedingt der Bau des Kreissystems, daß sich die Inspirationsgase sowohl aus frischen als auch aus ausgeatmeten Gasen zusammensetzen. Durch den Sauerstoffverbrauch des Pa-

tienten ist der O_2-Gehalt in den Rückatmungsgasen geringer als in den Inspirationsgasen. Dementsprechend findet man im Inspirationsgemisch eine niedrigere Sauerstoffkonzentration als im Frischgasstrom. Das Ausmaß des Sauerstoffabfalls im Einatemgemisch hängt vom Anteil des O_2-ärmeren Gases ab.

Um Aufschluß darüber zu bekommen, welche O_2-Konzentration der Patient tatsächlich einatmet, wurden verschiedene Möglichkeiten erprobt. Mehrere Autoren gaben in der Literatur Formeln zur Berechnung an (Fitton, Woolmer, Foldes et alii.). Ihre Anwendung erweist sich teilweise in der Praxis als sehr kompliziert, da zu viele Werte notwendig sind. Außerdem müssen unter Umständen beträchtliche Abweichungen vom tatsächlichen Wert in Kauf genommen werden.

Eine moderne und auch praktisch gut anwendbare Möglichkeit zur Bestimmung des Sauerstoff-Partialdruckes stellt der Gebrauch eines O_2-Analysators dar. Als Beispiel sei "Oxytest" der Firma Braun genannt. Die Anzeige erfolgt allerdings sehr träge, sodaß nicht ein einzelner Atemzug, sondern nur eine Periode von 5-10 Minuten Dauer analysiert werden kann. Jedoch ist mit diesem Gerät eine fortlaufende Kontrolle des Sauerstoffgehaltes im Einatemgas möglich.

2. Eigene Fragestellung

Die meisten Narkosen bei Erwachsenen werden heute mit einem Kreissystem durchgeführt. Der Patient atmet entweder über eine Maske oder durch einen zuvor eingelegten Endotrachealkatheter. Meist wird das System mit einer Mischung aus Sauerstoff und Lachgas beschickt. Die Dosierung dieser Gase erfolgt mit Hilfe von Gasmeßröhren (Rotametern), mit denen der Narkoseapparat

ausgestattet ist.

Sauerstoff und Lachgas lassen sich in jedem beliebigen Verhältnis miteinander mischen. Gebräuchlich sind die Mischungen:

1 : 1 = 50 Vol% O_2 : 50 Vol% N_2O
1 : 2 = 33 " : 67 "
1 : 3 = 25 " : 75 "

Dies bedeutet, daß z.B. 1 Liter O_2 mit 1, 2 oder 3 Litern N_2O pro Minute in das System einfließen.

Bei der Zusammenstellung eines für die Narkose geeigneten Gemisches müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden. Das Lachgas besitzt schon bei mittleren Konzentrationen von etwa 50 % eine gute analgetische Wirkung. Seine narkotische Eigenschaft tritt jedoch erst bei Konzentrationen über 80 % in ausreichendem Maß in Erscheinung. Solche Dosierungen verbieten sich selbstverständlich, da sie zwangsläufig ein zu geringes O_2-Angebot mit sich bringen. In jedem Fall muß aber ein O_2-Mangel verhindert werden.

Der durchschnittliche Sauerstoffverbrauch eines Erwachsenen beträgt in Ruhe 200 bis 300 ml pro Minute. Unter den Bedingungen einer Narkose ist er eher niedriger als dem Grundumsatz entspricht. Theoretisch wäre demnach ein Gemisch von 1 l O_2 : 3 l N_2O als das günstigste anzusehen. Eine Sauerstoff-Konzentration von 25 % reicht normalerweise zur völligen Oxygenierung des Blutes aus, und der Anteil des Lachgases ist mit 75 Vol.% relativ hoch. Der tatsächlich inhalierte O_2-Gehalt liegt in einem Kreissystem jedoch zum Teil beträchtlich unter dem am Rotameter eingestellten Wert. Dies wurde von mehreren Autoren untersucht. Sie fanden zwischen Frischgas und Inspirationsgasgemisch Unterschiede von 4 bis 6 Vol.% (Meyer u. Barth, Lennartz) oder sogar noch wesentlich mehr (Kavan).

Es ist also damit zu rechnen, daß bei einem Gemisch von 1 : 3 der Sauerstoffanteil im Einatemgas nur etwa 20% beträgt. Auch diese O_2-Konzentration führt normalerweise noch zu einer ausreichenden Sauerstoff-Sättigung des Blutes. Allerdings läßt sich für einen bestimmten Patienten der Sauerstoffverbrauch während einer Operation nicht voraussagen. Die Gefahr einer schleichenden Hypoxie kann also außerordentlich groß sein. Insbesondere dann, wenn für den Patienten verschlechterte Ventilationsbedingungen bestehen, kann eine genügende O_2-Versorgung nicht mehr gesichert sein. Dies trifft zum Beispiel bei Seitenlagerung des Patienten und bei thoraxchirurgischen Eingriffen zu.

Für den Anaesthesisten ist es daher von entscheidender Bedeutung, welchen Sauerstoff-Abfall im Inspirationsgas er erwarten muß, wenn er ein Kreissystem zur Narkose benutzt. Dieser zeigt bei verschiedenen Kreissystemen ein unterschiedliches Ausmaß, wobei von mehreren Autoren eine Abhängigkeit von der Stellung des Überdruckventils und der Frischgaszuleitung festgestellt wurde (Meyer u. Barth, Eger a. Ethans, Mapleson).

In der vorliegenden Arbeit wird an einigen häufig gebrauchten Kreissystemen untersucht, welche Abhängigkeit hinsichtlich der O_2-Konzentration im Inspirationsgas und dem konstruktiven Bau der Systeme besteht. Durch die Bestimmung der Sauerstoffkonzentration im Inspirationsgemisch wird versucht, das Kreissystem zu ermitteln, welches die beste Ausnutzung des Frischgases aufweist und somit am sparsamsten im Frischgasverbrauch ist. Wie schon erwähnt, liegt der Vorteil der Kreissysteme in der Möglichkeit, Narkosegas einzusparen. Daher wird der Wirtschaftlichkeit dieser Systeme große Bedeutung beigemessen.

3. Methodik

Es wurden 7 verschiedene Kreissysteme untersucht (schemat. Zeichnungen A bis G). Die Modelle A, B, C, D und G stammen von Narkoseapparaten der Firma Dräger. System A unterscheidet sich von System B lediglich durch den Ort der Frischgaszuleitung. Bei Modell E handelt es sich um ein englisches Boile-Absorber - System Mark III und bei Modell F um ein amerikanisches Ohio Circle Absorber-System.

Alle Systeme wurden in halbgeschlossener Funktionsweise benutzt. Der Widerstand des Überdruckventils war dabei auf den Minimalwert für die Spontanatmung eingestellt. Die Versuche wurden unter standarisierten Bedingungen durchgeführt. Stets atmete die gleiche Versuchsperson spontan über eine dicht sitzende Narkosemaske.

An den Systemen war zwischen Maske und Inspirationsventil zusätzlich ein weiteres Inspirationsventil eingebaut. Zwischen diesen beiden Ventilen befand sich der Entnahmehahn für die Gasproben. Die Lage des Entnahmehahns zwischen zwei Einatemventilen verhinderte, daß ausgeatmete Gase in die Proben gelangten.

Die Entnahme der Proben erfolgte nach Atemperioden von mindertens 10 Minuten Dauer. Nach dieser Zeit darf mit einem Gleichgewicht zwischen Einatemgas und Blut des Probanden gerechnet werden wie Untersuchungen von Beckmann ergaben. Die Gasproben wurden unter Quecksilber abgefüllt. Pro Atemperiode wurden nacheinander zwei Proben entnommen, von denen die erste verworfen wurde. Von der zweiten Probe wurde in einer Doppelbestimmung der Sauerstoffgehalt ermittelt. Die Analysen erfolgten mit Hilfe der Mikro-Scholander -Apparatur.

Die Größen,die bei den einzelnen Versuchen verändert wurden, waren

3.1. der Sauerstoffgehalt des Frischgases. Die drei Gemische enthielten;

20 % O_2 : 80 % N_2

25 % O_2 : 75 % N_2

30 % O_2 : 70 % N_2

3.2. die Gesamtmenge des zuströmenden Frischgases. Sie betrug 2, 4, 6, 8, 10 und 15 Liter pro Minute.

Mit 15 l/min wurde nur System C untersucht; bei System G entfiel die Untersuchung mit 2 l/min Zufluß.

Die Gasflaschen kamen in den genannten Zusammensetzungen von der Firma Linde. Vor Versuchsbeginn wurde ihr O_2-Gehalt mit der Mikro-Scholander-Methode nachgemessen. Die Versuchsreihen erforderten mehrere Flaschen eines Gemisches. Da diese in ihrem O_2-Gehalt geringe Differenzen aufwiesen, waren die Meßwerte nicht ohne weiteres vergleichbar. Erst durch die Bildung des Quotienten V / V_{max} konnten die einzelnen Versuchswerte miteinander verglichen werden. V_{max} entspricht dem O_2-Gehalt des benutzten Gemisches, V gibt den O_2-Gehalt in der entnommenen Gasprobe an. Sämtliche Meßwerte sind in den Tabellen 1 - 7 angegeben.

Die Dosierung des Gaszuflusses erfolgte mit Hilfe eines Rotameters, dessen Skala in 0,5 Liter unterteilt war. Stichproben auf einen eventuellen CO_2-Gehalt im Inspirationsgas wurden vorgenommen, um die Funktion der Absorber zu kontrollieren. Sie fielen negativ aus.

Für jedes untersuchte Kreissystem wurden die Meßwerte in Form des Quotienten V / V_{max} zusammen mit dem entsprechenden Frischgaszustrom pro Minute in ein Koordinatensystem eingetragen. Die Berechnung der Aus-

gleichskurven erfolgte im Institut für angewandte Mathematik der Universität Würzburg, wo gleichzeitig auch die Streubreite aus den Meßwerten jedes Systems für die statistische Auswertung mathematisch errechnet wurde. Die in Fig. 1 - 7 graphisch dargestellten Streubreiten entsprechen 1,65 sigma, d. h. 90 % aller Ergebnisse liegen innerhalb dieses Steubereiches. Die graphische Darstellung wurde so gewählt, daß sich die untersuchten Systeme bei den verschiedenen O_2/N_2 - Gemischen miteinander vergleichen lassen.

4. Ergebnisse

Wie schon oben erwähnt, waren die absoluten Werte der Versuchsergebnisse wegen der nicht ganz exakten Zusammensetzung der Gemische nicht ohne weiteres vergleichbar. Die im Folgenden angegebenen Volumenprozente wurden rechnerisch ermittelt. Der Berechnung lagen die Quotienten V / V_{max} zugrunde. Nach Multiplikation dieser Werte mit der Prozentzahl des gewünschten O_2-Anteils im Frischgasgemisch, nämlich 20, 25 und 30, ergibt sich der Vol.% - Anteil, den der Sauerstoff bei Verwendung dieses Gemisches einnehmen würde. Damit sind die Vol.% - Werte miteinander vergleichbar.

4.1. 20 % O_2-Gehalt im Frischgas (Abb.5)

Bei einem Gaszustrom von 2 l/min fanden sich im Inspirationsgas bei den Systemen B u. F 14,3 Vol.% O_2, bei System D 14 Vol.%, bei System A 13,4 Vol.%, bei System E 12,6 Vol.% und bei System C 11,6 Vol.%.

Bei einem Frischgasfluß von 4 l/min enthielt das Einatemgemisch bei System F 18,8 Vol.%, bei System B 18 Vol.%, bei System G 17,4 Vol.%, bei System E 16,5 Vol.% , bei den Systemen A u. D 15,6 Vol.% und bei System C 14,6 Vol.% Sauerstoff.

Betrug der Frischgasfluß 6 l/min, fanden sich im Einatemgemisch folgende O_2-Konzentrationen: Systeme F u. G 19,8 Vol.%, System B 19,2 Vol.%, Systeme A u. E 18,6 Vol.%, System D 18 Vol.% und System C 16,6 Vol.%.

Bei einem Gaszufluß von 8 l/min fand sich bei den Modellen A, B, F u. G kein nennenswerter Unterschied zwischen Frischgas und Inspirationsgas, die Systeme D u. E enthielten 19 Vol.% O_2 im Inspirationsgas und Modell C 18,3 Vol.%.

Bei einer Frischgasmenge von 10 l/min wiesen nur die Systeme C u. D einen geringeren O_2-Gehalt im Einatemgas auf, nämlich 19 Vol.%.

Modell C wurde auch noch bei einem hohen Gaszufluß von 12 l/min untersucht. Das Einatemgas enthielt dabei 19,5 Vol.% O_2.

4.2. 25 % O_2-Gehalt im Frischgas (Abb.6)

Betrug der Frischgaszufluß 2 l/min, so enthielt System F 20,3 Vol.% O_2 im Einatemgas, System B 18 Vol.%, System E 17,2 Vol.%, die Systeme C u. D 16 Vol.% und System A 13 Vol.%.

Bei einem Gaszufluß von 4 l/min betrug der O_2-Gehalt im Inspirationsgas bei Modell F 23,5 Vol.%, bei Modell B 22,7 Vol.%, bei den Systemen A, E u. G 21,5 Vol.% und bei den Systemen C u. D 20,3 Vol.%.

Bei einem Zufluß von 6 l/min fanden sich folgende O_2-Konzentrationen im Inspirationsgas: System B 24,2 Vol.%, die Systeme A u. F 23,6 Vol.%, die Systeme E u. G 22,6 Vol.% und die Systeme C u. D 22,2 Vol.%.

Bei einem Zustrom von 8 l/min war bei den Modellen B, F u. G kein wesentlicher Unterschied zwischen Einatemgas und Frischgas vorhanden; die Systeme A u. E enthielten 23,7 Vol.% O_2 im Einatemgasund die Modelle C u. D 22,7 Vol.%

Auch bei einem Gaszustrom von 10 l/min entsprach die

Zusammensetzung des Einatemgases bei den Modellen B, F u.G der des Frischgases, bei Modell A betrug der O_2-Gehalt im Inspirationsgas 24 Vol.%, bei den Modellen D u. E 23,6 Vol.% und bei Modell C 23,2 Vol.%.

System C wurde wiederum bei einem Gaszufluß von 15 l/min untersucht. Das Einatemgas enthielt dabei 24 Vol.% Sauerstoff.

4.3. 30 % O_2-Gehalt im Einatemgas (Abb.7)

Bei einem Frischgaszustrom von 2 l/min fanden sich folgende O_2-Konzentrationen im Einatemgemisch: bei den Systemen A, B u. F 23,5 Vol.%, bei System C 22,8 Vol.%, bei System E 22,2 Vol.% und bei System D 21,6 Vol.%.

Bei einem Zustrom von 4 l/min enthielt Modell G 28,2 Vol.% Sauerstoff im Inspirationsgas, Modell B 26,7 Vol.%, die Modelle A, E u. F 26,3 Vol.%, System D 24,9 Vol.% und System C 23,7 Vol.%.

Flossen 6 l/min Frischgas in das System ein, so betrug der O_2-Gehalt des Einatemgases bei System G 28,5 Vol.%, bei den Systemen A, B, E u. F 27,7 Vol.% und bei den Systemen C u. D 25,3 Vol.%.

Bei einem Zufluß von 8 l/min enthielt das Inspirationsgemisch bei System G 29,4 Vol.%, bei den Systemen A, B, E u. F 28,5 Vol.%, bei System C 27,3 Vol.% und bei System D 26,7 Vol.%.

Betrug der Gaszufluß 10 l/min, war bei System G kein nennenswerter Unterschied zwischen Einatemgemisch und Frischgas; bei System B fanden sich 29,4 Vol.% O_2 im Inspirationsgas, bei den Systemen A, E u. F 28,8 Vol.%, bei System C 28,2 Vol.% und bei System D 27,6 Vol.%.

Die Untersuchung von Modell C bei einem Zufluß von 15 l/min ergab eine O_2-Konzentration von 28,8 Vol.% im Einatemgemisch.

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

4.4.1. Im Inspirationsteil jedes der untersuchten Kreissysteme sinkt der prozentuale Sauerstoffgehalt mit der Abnahme der zugeführten Frischgasmenge.

4.4.2. Mit abnehmendem Sauerstoffgehalt des Frischgasstromes vergrößert sich die Differenz im O_2-Gehalt zwischen Frischgas und Inspirationsgas.

4.4.3. Es besteht eine abnehmende Leistung der Modelle in folgender Reihe: G, B, F, A, E, D und C, wobei die Unterschiede zwischen den Modellen G, B und F gering, jedoch gegenüber D und C beträchtlich sind.

5. Diskussion

Mit dem Bau eines Narkosekreissystems wurde die Wirtschaftlichkeit der Narkosesysteme erhöht. Ein Kreissytem bietet die Möglichkeit, Narkosegase bzw. -Dämpfe einzusparen, indem ein Teil des ausgeatmeten Gemisches mit frischen Gasen angereichert dem Patienten nach Absorption des CO_2-Anteils erneut zugeführt wird. Der Sauerstoffgehalt des Inspirationsgemisches kann jedoch, wie in der Einleitung schon erwähnt, unter dem O_2-Anteil des Frischgasgemisches liegen. Daraus ergibt sich bei der Anwendung des Kreissystems die Forderung, in jedem Fall ein Frischgasgemisch zu wählen, das zu einer ausreichenden Sauerstoffversorgung des Patienten führt.

Eine Korrelation besteht zwischen dem O_2-Gehalt an der Einatemseite im System und der absoluten Menge des zuströmenden Frischgases. Je größer der Frischgaszufluß pro Minute ist, desto kleiner wird die O_2-Differenz zwischen diesem und dem tatsächlich inspirierten Gasgemisch. Bei einem niedrigen absoluten Gasfluß muß

man dagegen mit einer größeren O_2-Differenz rechnen. Auf diesen Zusammenhang wurde schon von verschiedenen Autoren hingewiesen (Kain, Hohmann, Öhmig, Sara, Eger, Smith, Mapleson). Auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verdeutlichen diesen Effekt. Bei einem Gaszufluß von 2 l/min betrug der O_2-Abfall im Inspirationsgemisch bis zu 9 Vol.%, während bei hohen Gaszuflüssen von 10 l/min nahezu der Sättigungswert erreicht wurde. Das Inspirationsgemisch setzt sich sowohl aus Frischgas als auch aus dem sauerstoffärmeren ausgeatmeten Gemisch innerhalb des Kreissystems zusammen. Durch einen sehr hohen Frischgasfluß wird das System weitgehend durchgespült. Dagegen mischt sich bei niedrigem Gasaustrom das Frischgas mit einem relativ hohen Anteil sauerstoffärmeren Gemisches.

Außer der Höhe des Gaszuflusses nimmt die prozentuale Zusammensetzung des Frischgases einen primären Einfluß auf die Sauerstoff-Differenz zwischen zufließendem und eingeatmetem Gas. Die Ergebnisse zeigen bei Untersuchungen mit dem sauerstoffärmsten Gemisch einen ausgeprägteren Sauerstoffabfall im Inspirationsgemisch gegenüber Untersuchungen mit dem sauerstoffreichsten Gemisch. Besonders deutlich ist dieser Effekt bei gleichzeitig niedrigen Gaszuflüssen von 2 -4 l/min. Er kommt dadurch zustande, daß bei diesen Gasgemischen die konstante Entnahme von 200 - 300 ml O_2 pro Minute durch den Patienten mehr ins Gewicht fällt als bei O_2-reichen Gemischen. Durch die Absorption von CO_2 verschiebt sich die prozentuale Zusammensetzung weiterhin zugunsten des N_2 bzw. des N_2O. Hierdurch besitzt das in das System abgeatmete Gas nur noch einen besonders geringen prozentualen Sauerstoffanteil. Obgleich es sich schließlich wieder mit Frischgas mischt und in den Inspirationsteil gelangt, findet man doch einen starken O_2-Abfall. Wird dieser Effekt der konstanten

O_2-Entnahme durch den Patienten ausser Acht gelassen, so besteht die Möglichkeit eines schleichenden Sauerstoffmangels beim Patienten und damit die Gefahr von Narkosezwischenfällen. Auf die drohende Hypoxie unter derartigen Bedingungen hat Sara eindringlich hingewiesen.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen weiterhin eine entscheidende Abhängigkeit des O_2-Gehaltes von der Art des benutzten Narkosekreissystems. Bei gleicher Versuchsanordnung zeigten die verschiedenen untersuchten Systeme deutliche Unterschiede, die es erlauben, sie in günstige, mittelmäßige und weniger günstige bezüglich ihrer Frischgasausnutzung einzuteilen.

In der graphischen Darstellung der Ergebnisse erreichen die günstigen Modelle schon bei Gaszuflüssen von 4 - 6 l/min eine hohe Sättigung und zeigen bei niedrigen Zuflüssen keinen so starken O_2-Abfall wie die übrigen Modelle. In der Praxis bedeutet dies eine geringere Sauerstoff-Differenz zwischen Frischgasgemisch und Inspirationsgemisch als bei weniger guten Systemen.

Günstige Ergebnisse lieferten die Modelle B, F und G. Die Inspirationsgasproben der Modelle B u. F enthielten bei einem Zustrom von 3 l/min des 20 % O_2-haltigen Gemisches 82 - 87 % vom Frischgas-Sauerstoffwert, des 25 % O_2-haltigen Gemisches 84 - 88 % und des 30 % O_2-haltigen Gemisches 84 %. Modell G zeigt bei 4 l Frischgas pro Minute bei dem Gemisch mit 20 % O_2-Gehalt eine 87 %ige Sättigung, bei dem Gemisch mit 25 % O_2-Gehalt eine 85 %ige Sättigung und bei 30 % O_2-haltigem Frischgas eine 94 %ige Sättigung im Einatemgemisch. Wird ein hoher Frischgasstrom von 8 l/min angewandt, so erreichen diese Systeme 95 - 100 % des Sättigungswertes in Abhängigkeit vom benutzten Gemisch.

Als mittelmäßig erwiesen sich die Systeme A und E. Allerdings ergab System A bei Gaszuflüssen von 6 l/min und mehr ähnlich gute Ergebnisse wie die oben genannten Modelle. Jedoch zeigte sich bei niedrigeren Flüssen ein starker Sauerstoffabfall im Inspirationsgemisch. Mit dem 20 % O_2-haltigen Gemisch wurde bei 3 l/min eine 74 %ige Sättigung erreicht, mit dem 25 % O_2-haltigen Gemisch ebenfalls und mit dem 30 % O_2-haltigen Frischgas eine 83 %ige Sättigung. Fast die gleichen Ergebnisse lieferte Modell E bei diesem Gaszufluß. Bei höheren Zuflüssen scheint es Modell A unterlegen zu sein.

Die ungünstigsten Versuchsergebnisse zeigten die Modelle C und D. Betrachtet man sie wiederum bei einem Zufluß von 3 l/min, so enthält System C bei dem Gemisch mit 20 % O_2-Anteil 66 % hiervon im Einatemgemisch, System D 75 %; bei dem Gemisch mit 25 % O_2-Anteil beträgt die Sättigung bei System C und bei System D 73 % und bei dem Gemisch mit 30 % O_2-Gehalt erreichen beide Systeme eine 77 %ige Sättigung. Betrug der Zufluß 8 l/min, so überstieg bei beiden Modellen der O_2-Gehalt im Einatemgas nicht 94 % des Frischgas-Sauerstoffgehaltes. Bei Modell C lag er bei dem O_2-ärmsten Gemisch sogar unter 80 %. Erst mit einem besonders hohen Zustrom von 15 l/min konnte bei diesem System eine Sättigung von 93 - 99 % je nach benutztem Gemisch erreicht werden.

Die deutlichen Unterschiede der einzelnen Modelle bezüglich ihrer Frischgasausnutzung fordern dazu heraus, die Verschiedenheiten im kostruktiven Bau zu suchen. Durch die Anordnung von Inspirations- und Expirationsventil, Überdruckventil und Frischgaszuleitung innerhalb eines Kreissystems soll eine günstige Verteilung der Gasgemische erreicht werden. Die Forderung nach hoher Wirtschaftlichkeit soll er-

füllt werden, ohne daß der Patient der Gefahr einer zu geringen Sauerstoffzufuhr ausgesetzt wird. Daher ist es erstrebenswert, daß in erster Linie das Gas durch das Überdruckventil eliminiert wird, welches in den Alveolen am Gasaustausch beteiligt war. Hiernach richtet sich die Stellung des Überdruckventils im System. Einige Autoren haben sich bisher mit diesem Problem befaßt (Brown, Eger a, Ethans, Hohmann, Mapleson). Nach ihren Arbeiten liegt bei Spontanatmung der günstigste Ort für das Überdruckventil im Expirationsteil nahe am Patienten. - Dies gilt auch bei Überdruckbeatmung, sofern sich die Stelle hinter dem Expirationsventil befindet. - Bei dieser Anordnung soll nach der Arbeit von Eger a. Ethans beim Auftreten eines Überdrucks im System während der Expirationsphase überwiegend ausgeatmetes Gas entweichen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß der Überdruck nur während der Expirationsphase auftritt. Ist dies nicht der Fall, so kann auch Frischgas entweichen.

In den vorliegenden Untersuchungen tritt ein günstiger Einfluss des Überdruckventils an dieser Stelle nicht deutlich hervor. Zwar besitzt das günstige Modell G das Überdruckventil nahe am Patienten direkt hinter dem Expirationsventil. Doch bei den ebenfalls günstigen Modellen B u. F befindet sich das Überdruckventil entfernt vom Patienten: bei System F im Expirationsteil, bei System B im Nebenschluß. Die beiden als ungünstig befundenen Modelle haben das Überdruckventil hinter dem Expirationsventil. Von den beiden mittelmäßigen Modellen befindet sich bei A das Überdruckventil im Nebenschluß, bei E im Expirationsteil entfernt vom Patienten.

Eger a. Ethans benutzten bei ihren Versuchen ein Atemmodell und wählten eine Sinuskurve der Atmung. Sie wiesen selbst darauf hin, daß unter anderen Be-

dingungen die Ergebnisse anders ausfallen könnten.

Auch P. Schreiber bezeichnet in seiner Abhandlung über Kreissysteme die Stelle hinter dem Einatemventil als den günstigsten Ort für das Überdruckventil. Gleichzeitig geht er auch auf den Ort der Frischgaszufuhr im System ein. Die besten Ergebnisse lieferten die Kreissysteme, bei denen der Frischgaszustrom in unmittelbarer Nähe des Inspirationsventils erfolgte.

Die eigenen Untersuchungen zeigen ebenfalls die entscheidende Bedeutung der Frischgaszufuhr im System auf. Von den drei Modellen, die sich als günstig erwiesen haben, besitzen die Modelle B u. G die Frischgaszufuhr in direkter Nähe des Inspirationsventils. Das Inspirationsventil befindet sich weit entfernt von dieser Stelle. Lediglich bei Modell F befindet sich der Gaszufluß im Expirationsteil. Aber auch hier ist eine größere Distanz zwischen ihm und dem Überdruckventil vorhanden.

Sowohl bei dem mittelmäßigen System E als auch bei den schlechteren Systemen C u. D liegt der Frischgaszufluß direkt neben dem Überdruckventil, bei dem ebenfalls mittelmäßigen System A ist er etwas entfernt davon im Expirationsteil angeordnet.

Aufschlußreich für die Bedeutung der Gaszufuhrstelle ist eine Gegenüberstellung der Systeme A u. B. Die beiden Modelle sind bis auf diese Anordnung identisch. Durch die Verlegung der Frischgaszuleitung in unmittelbare Nähe des Inspirationsventils lieferte Modell B deutlich bessere Ergebnisse (Abb. 8). Diese Abänderung vergrößerte die Entfernung zwischen Überdruckventil und Frischgaszuleitung.

Das einzige Modell, das günstige Ergebnisse lieferte und bei dem sich die Frischgaszufuhr im Expirationsteil befindet, ist System F. Bemerkenswert ist allerdings, daß die Stelle am Anfang des Expirationsteils nahe am Patienten liegt, während das Expirationsventil am Ende

des Ausatemteils kurz vor dem Inspirationsventil angebracht ist. Das Überdruckventil befindet sich zwischen Inspirations- und Expirationsventil. Somit liegen auch hier Frischgaszuleitung und Überdruckventil entfernt voneinander, Dieses System erbrachte gute Ergebnisse, obwohl Ausatemventil und Überdruckventil nicht nahe am Patienten angebracht sind.

Die Ergebnisse dieser Arbeit weisen darauf hin, daß die entscheidende Rolle für die Leistung eines Narkosekreissystems nicht der Stellung des Überdruckventils alleine zukommt. Ausschlaggebend ist vielmehr die Anordnung von Überdruckventil und Frischgaszuleitung zueinander. Eine geringe Distanz zwischen beiden erwies sich als ungünstig. Modelle mit einem großen Abstand zwischen Überdruckventil und Gaszuleitung zeigten eine gute Frischgasausnutzung. Der Ort, an dem sich das Überdruckventil befand , zeigte keinen Einfluß hierauf.

Dies steht in Übereinstimmung mit den Untersuchungen von P. Schreiber. Zwar geht ernicht auf die Distanz zwischen Überdruckventil und Frischgaszuleitung im Kreissystem ein; jedoch sind die von ihm als günstig bezeichneten Systeme diejenigen, bei denen ein großer Abstand zwischen beiden Elementen vorhanden ist.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Frischgasausnutzung bei 7 Narkosekreissystemen untersucht, die einen unterschiedlichen konstruktiven Bau besitzen. Die Untersuchung erfolgte mit 3 Sauerstoff-Stickstoffgemischen bei verschiedenen Frischgaszuflußmengen. Nach Atemperioden von mindestens 10 Minuten Dauer wurden Inspirationsgasproben entnommen und deren O_2-Gehalt bestimmt. Er wurde mit dem

O_2-Gehalt des Frischgases verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, daß bei einem Narkosekreissystem der Abstand zwischen Frischgaszufuhr und Überdruckventil von entscheidender Bedeutung für die Frischgasausnutzung ist. Je größer dieser Abstand ist, desto geringer ist die Differenz im Sauerstoff-Gehalt zwischen Frischgas und Inspirationsgas. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen sind bei niedrigeren Gaszuflüssen deutlicher als bei hohen. Bei Sauerstoffarmen Gemischen ist der O_2-Abfall im Inspirationsgas am ausgeprägtesten. Es findet sich eine abnehmende Leistung der Modelle G, B, F, A, E, D und C.

7. Literatur

Barth u. Meyer, "Moderne Narkose", Jena:VEB, G.Fischer-Verlag 1962

Brown,E.S., Seniff,A.M., Elam,J.O., "CO_2-Elemination in Semiclosed Systems", Anestesiology 25 (1964)

Bekmann,H., Kann,J., Szadowski,D., "Das Verhalten der arteriellen Blutgase und der Wasserstoffionenkonzentration unter verschiedenen Ventilationsbedingungen", Med. Welt 42 (1966)

Eger,E.I., Ethans,C.T., "The Effects of Inflow, Overflow and Valve Placement on Economy of the Circle System", Anesthesiology 29 (1968)

Fitton,E.P., "Theoretical Investigations of Oxygen Concentration in Gases inspired from Various Semiclosed Anesthetic Systems", Brit.Journal of Anesth.30 (1958)

Foldes,F.F., Ceravulo,A.J., Carpenter,S.L., "Nitrous Oxide-Oxygen Anesthesia in Closed Systems", Ann. Surg. 136 (1952)

Hohmann,G., "Atem- und Gasgemische in Narkoseapparaten", Acta Medicotechnica, Medizinalmarkt 3 (1961)

Kain,M.L., Nunn,J.F., "Fresh Gas Flow and Rebreathing in the Magill Circuit with Spontanous Respiration", Proceedings of the Royal Society of Medicine, Bd.60, Heft 8 (1967)

Kavan,E.M., "Oxygen Concentrations actually administered to Patients during Cyclopropane Anesthesia", Acta Anesth. Scand, 8 (1964)

Lennartz,H., "Messung des P_{O_2} mit einer neuen Goldelektrode in Gasgemischen während der Narkose und postoperativen Überwachungszeit" , Anaesthesist Bd. 13, Heft 4 (1964)

Mapleson,W.W., "The Elimination of Rebreathing in Various Semiclosed Anesthetic Systems", Brit. Journal of Anesth. 26 (1954)

Mapleson,W.W., "The Concentration of Anesthetics in Closed Circuits, with special Reference to Halothane. Brit. Journal of Anesth. 32 (1960)

Sara,C., "The Oxygen Concent of Anesthetic Mixtures", Medical Journal Of Australia 2 (1961)

Schreiber,P.,"Der Narkoseapparat", Springer-Verl, Berlin (1969)

Smith,Th., "Nitrous Oxyde and Low Inflow Circle Systems" Anesthesiology 27 (1966)

Legenden

Abb. 1 - 4: Schematische Darstellung 4 verschiedener Narkosesysteme. Beschreibung siehe Text Seite 2 - 3.

Abb. 5 - 7: Änderung des Sauerstoffgehaltes der untersuchten Kreissysteme in Abhängigkeit vom Frischgaszufluß

Abb. 5 O_2-Anteil im Frischgas 20 %

Abb. 6 O_2-Anteil im Frischgas 25 %

Abb. 7 O_2-Anteil im Frischgas 30 %

Abb. 8: Vergleich der Kreissysteme A und B.

System A - G: Fotographische und schematische Darstellung der untersuchten Kreissysteme.

Zu den Versuchsergebnissen:
Die oberen Werte in den Tabellen geben die in den Versuchen gemessenen Volumenprozente O_2 im Inspirationsgemisch an, die unteren den Quotienten V / V_{max}.

Abb. 1 Ayre'sches T-Stück

Abb. 2 Magill System

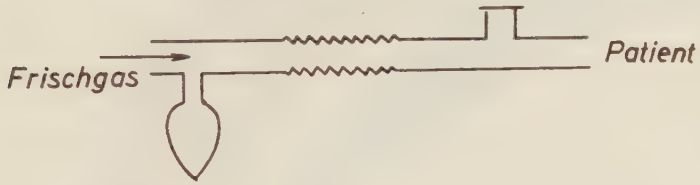


Abb. 3 Einwegsystem

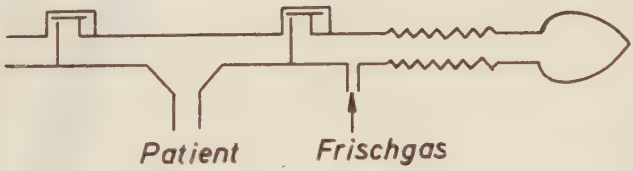


Abb. 4 Kreissystem

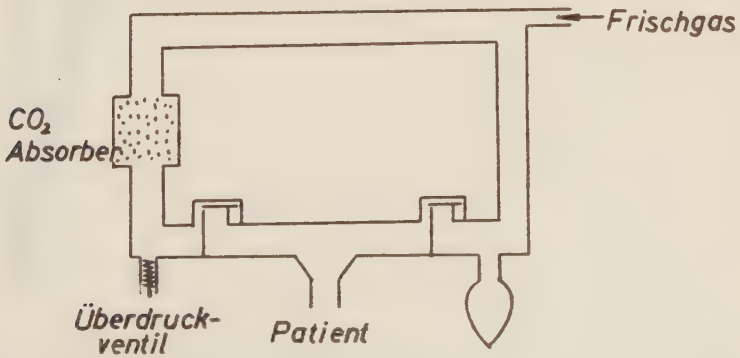


Abb.5

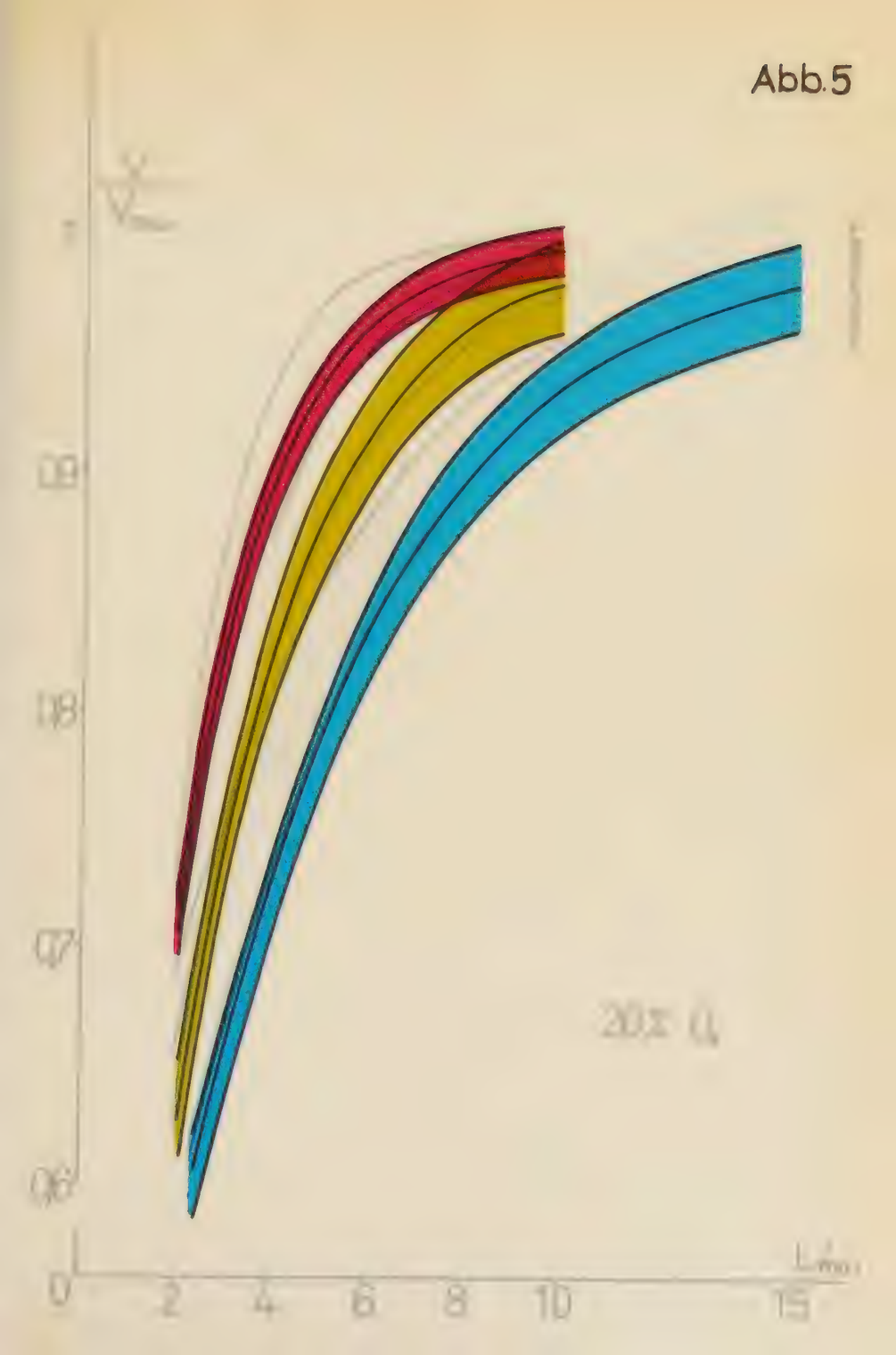


Abb.5

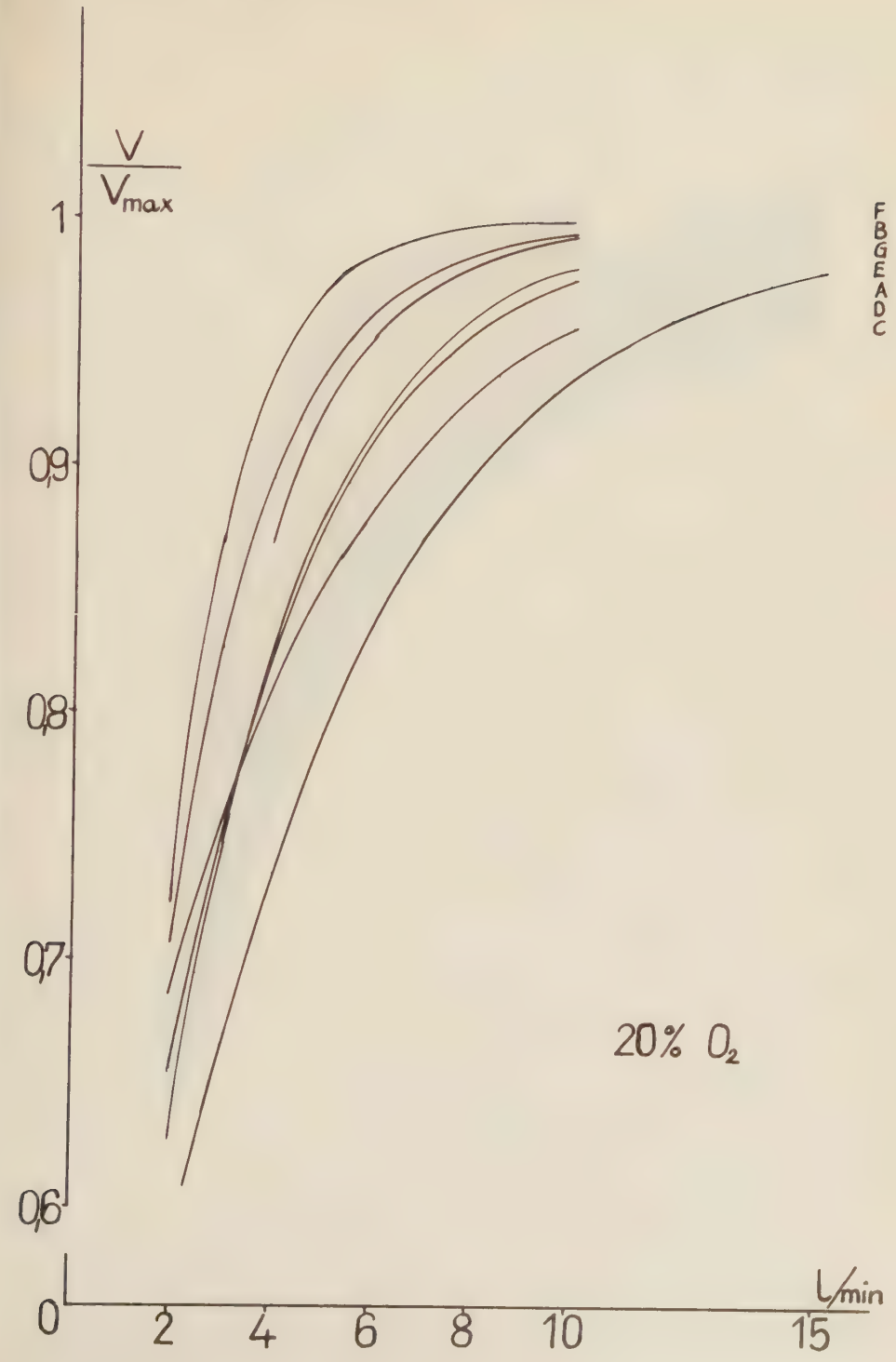
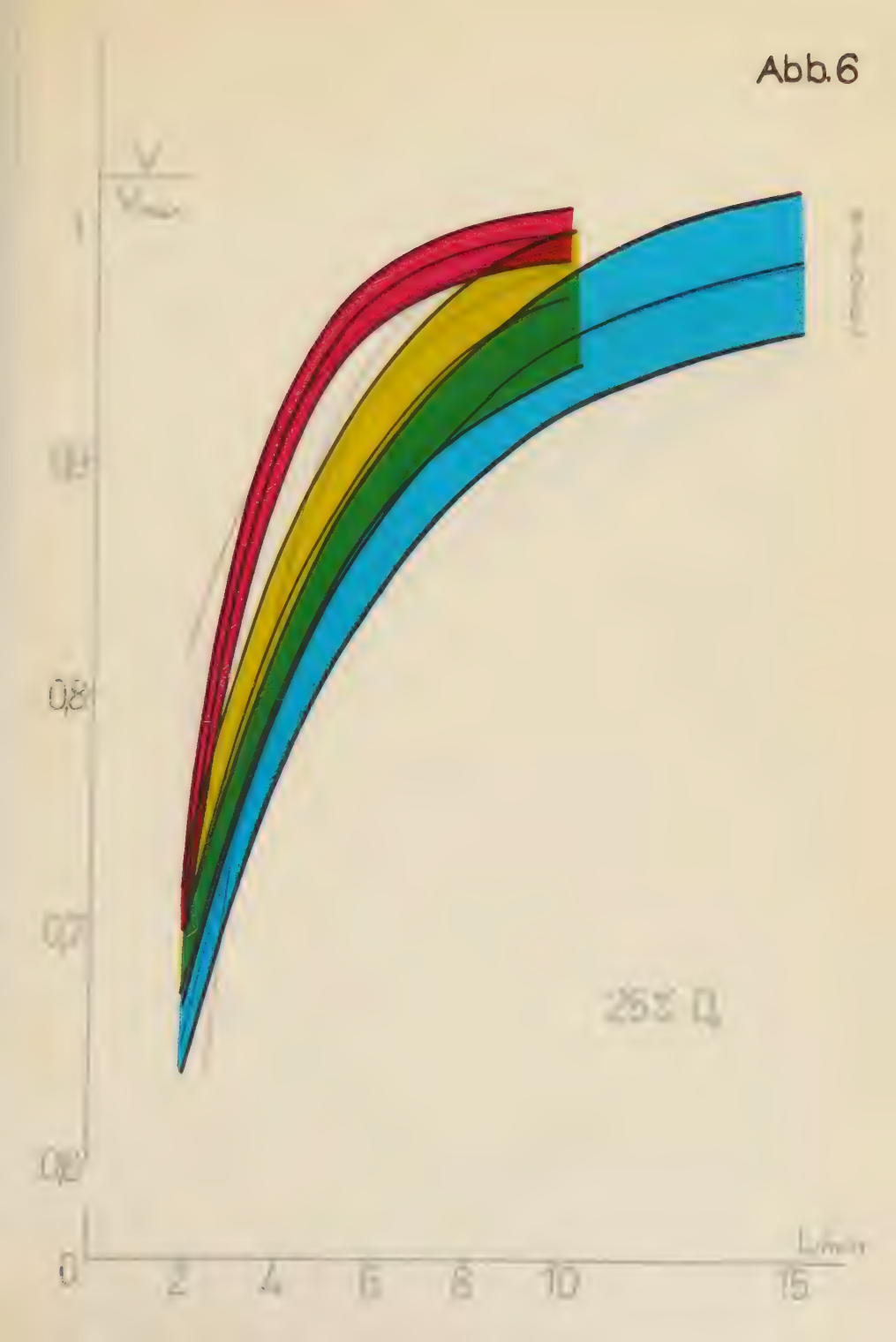

V
Vmax
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0
2
4
6
8
10
15
L/min
F
B
G
E
A
D
C
20% O2

Abb.6



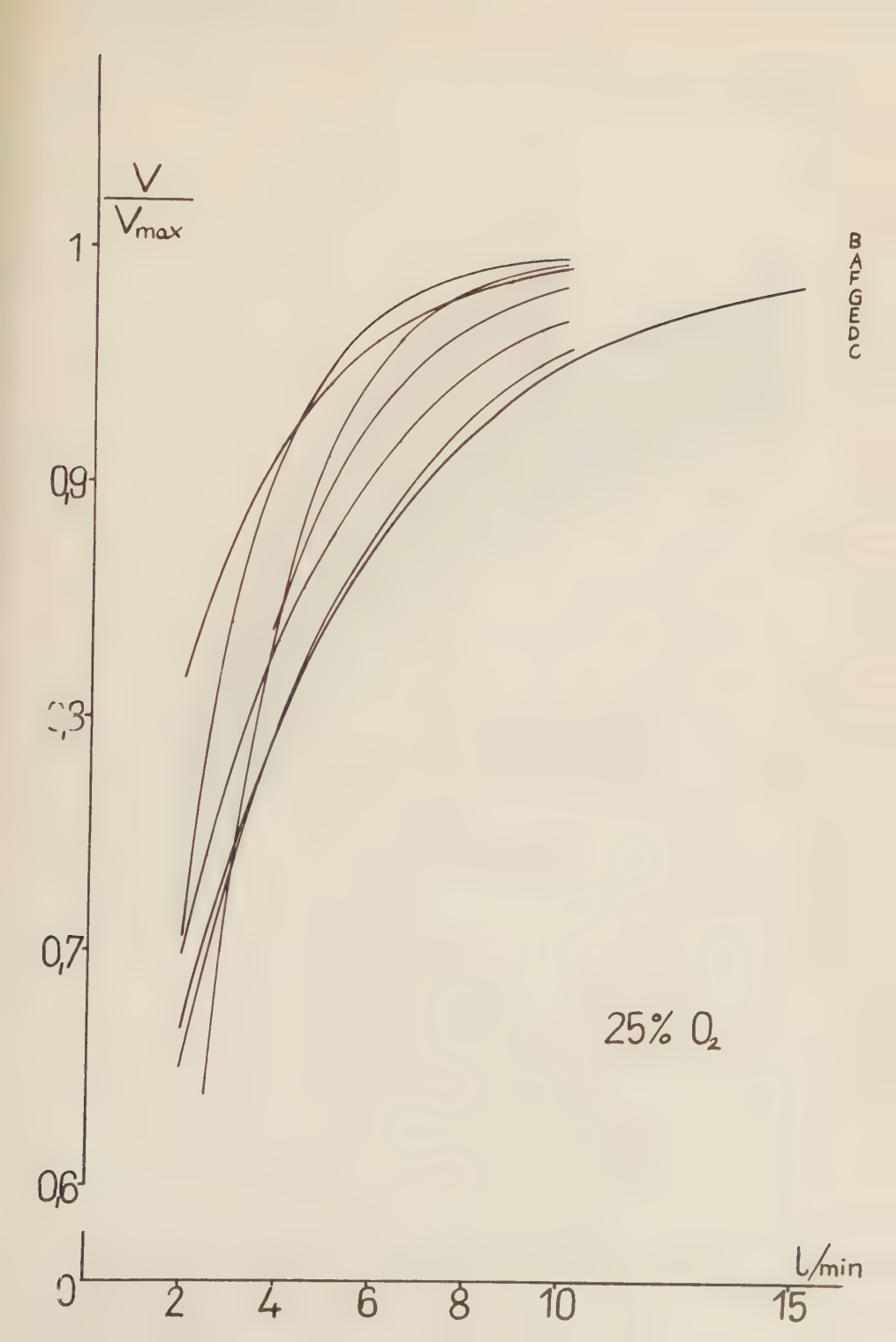

V/Vmax
1
0,9
0,7
0,6
0
2
4
6
8
10
15
l/min
25% O2
B A F G E D C

Abb. 7

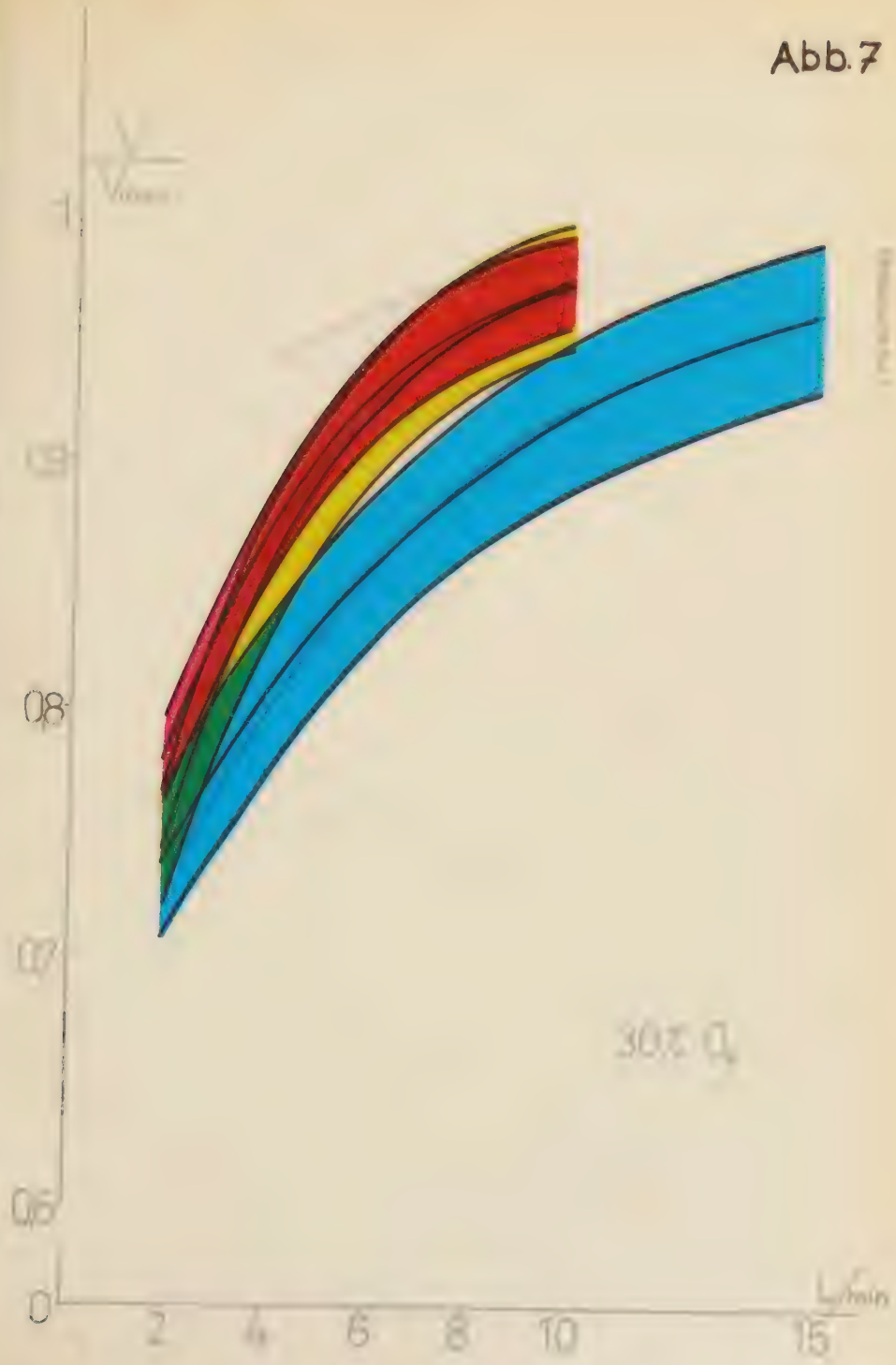


Abb.7

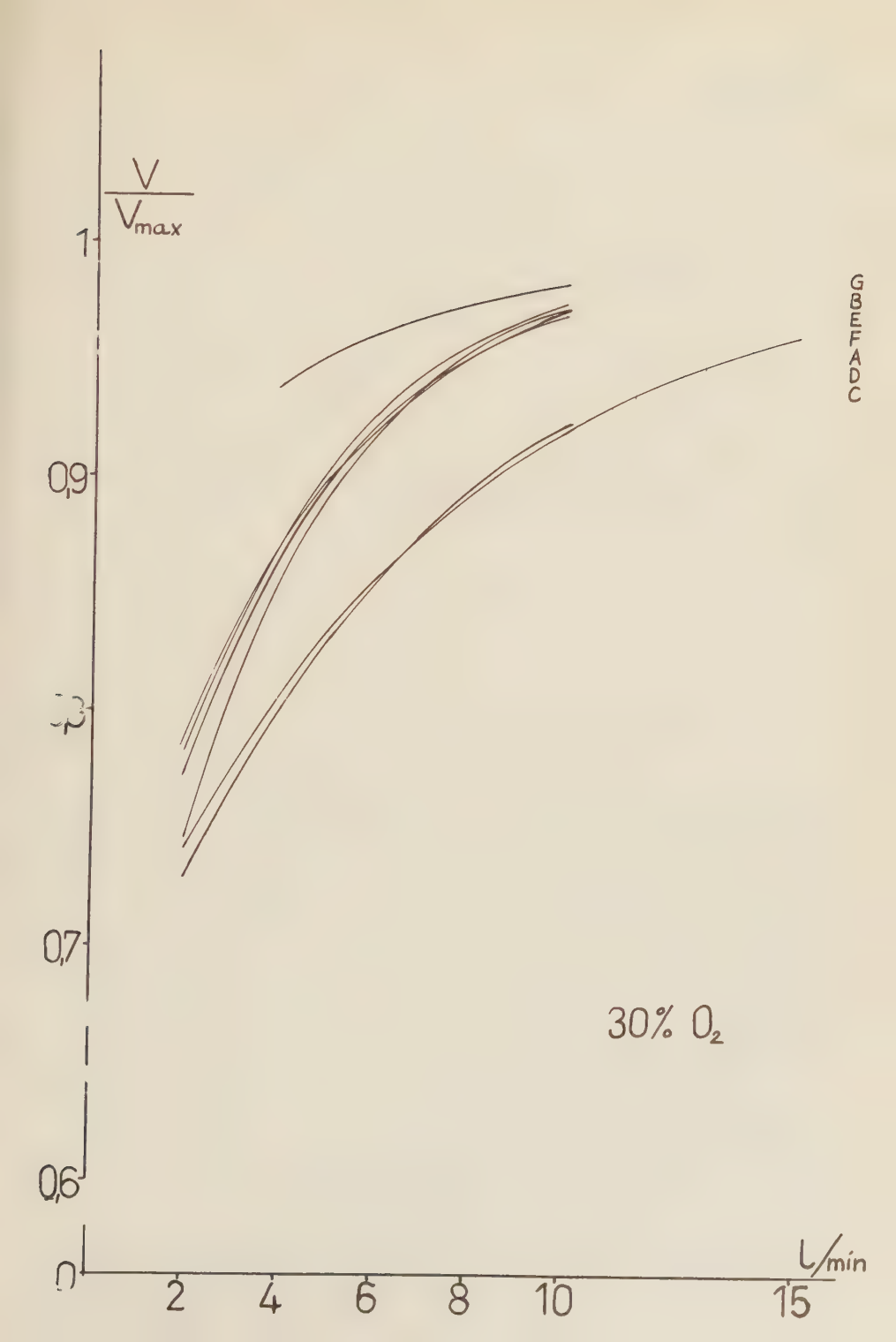
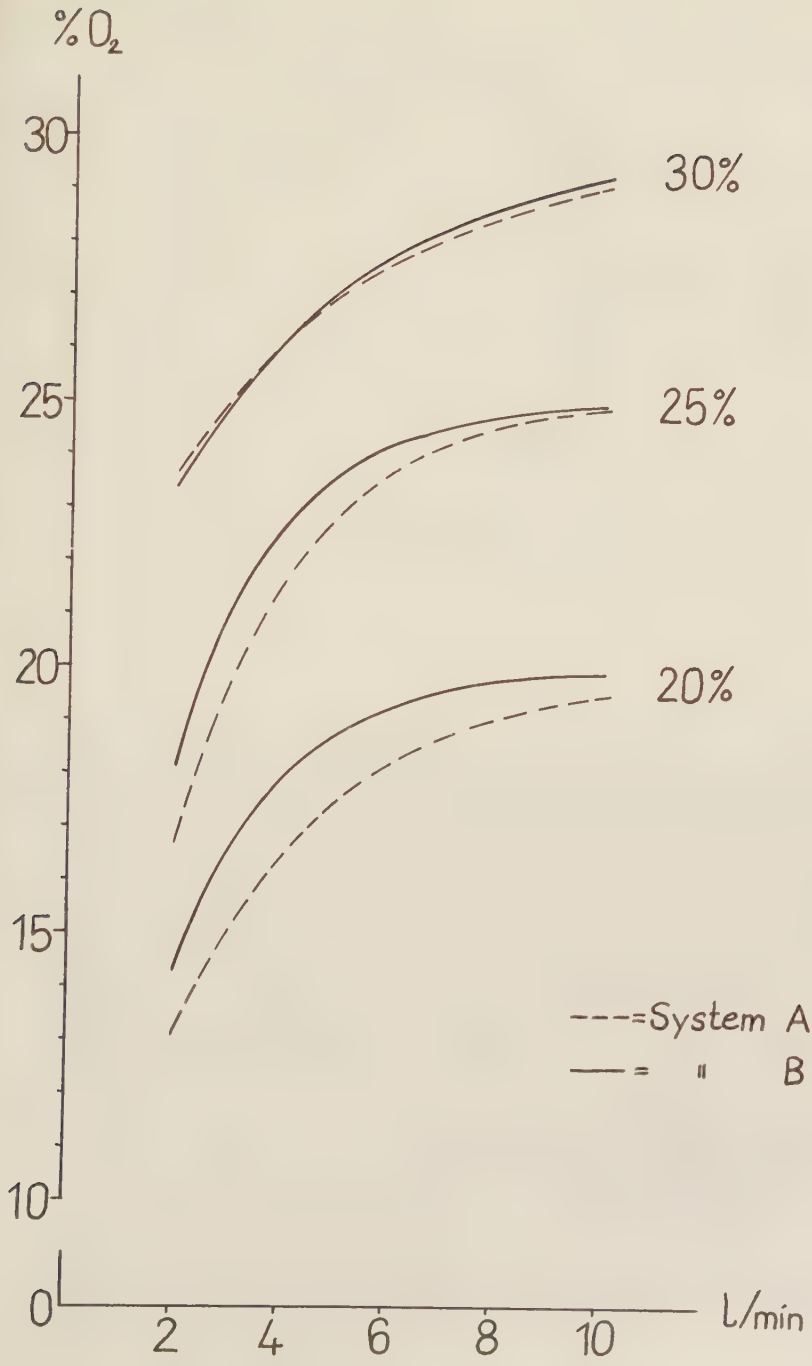
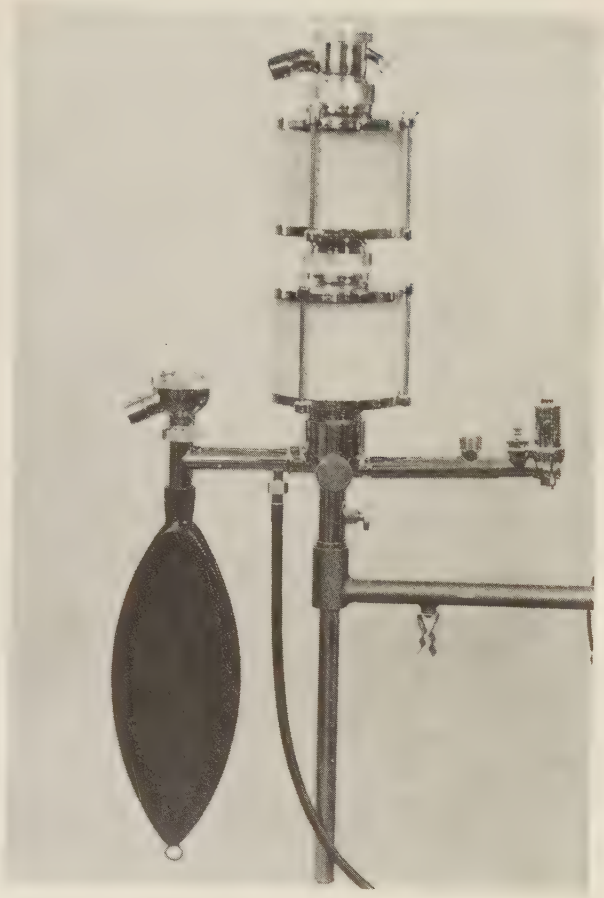
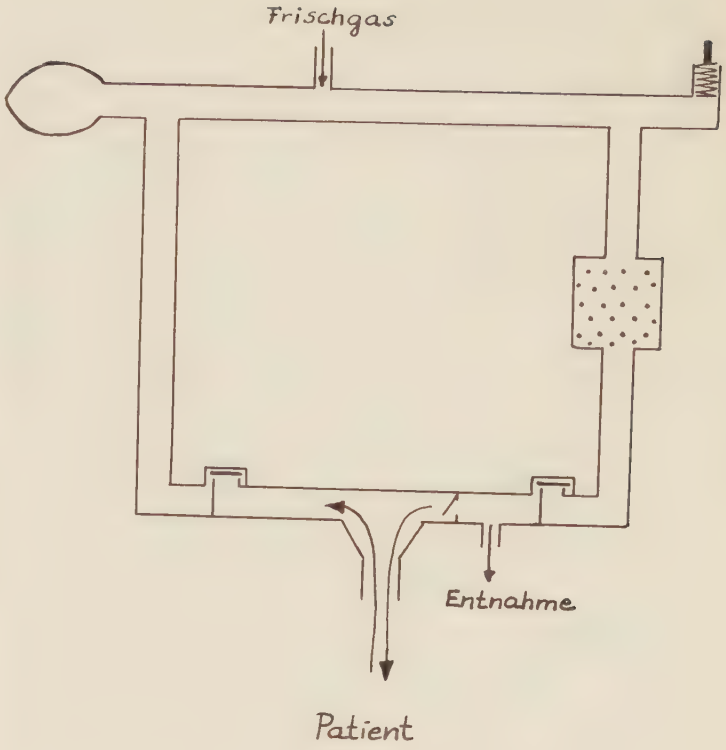

V
Vmax
1
0,9
0,7
0,6
0
2
4
6
8
10
15
L/min
G
B
E
F
A
D
C
30% O2

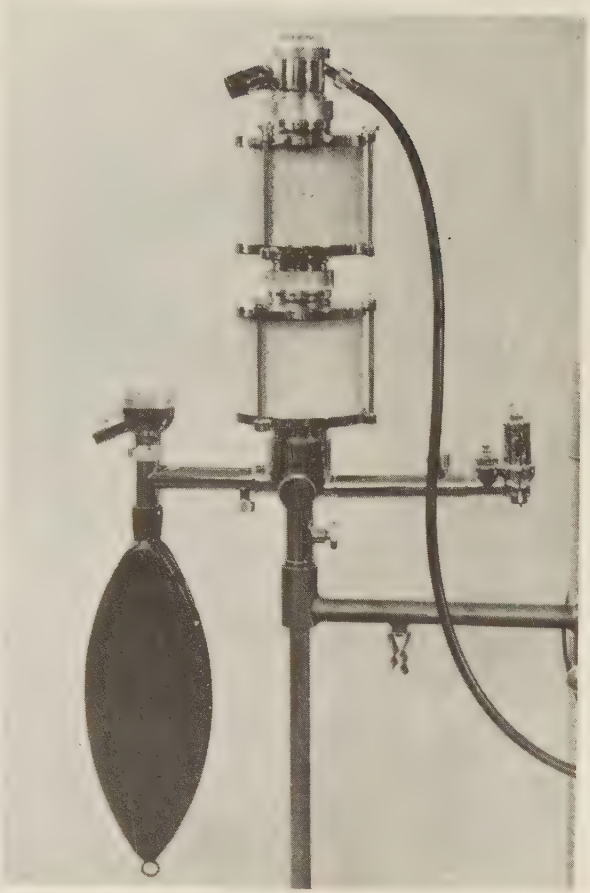
Abb.8

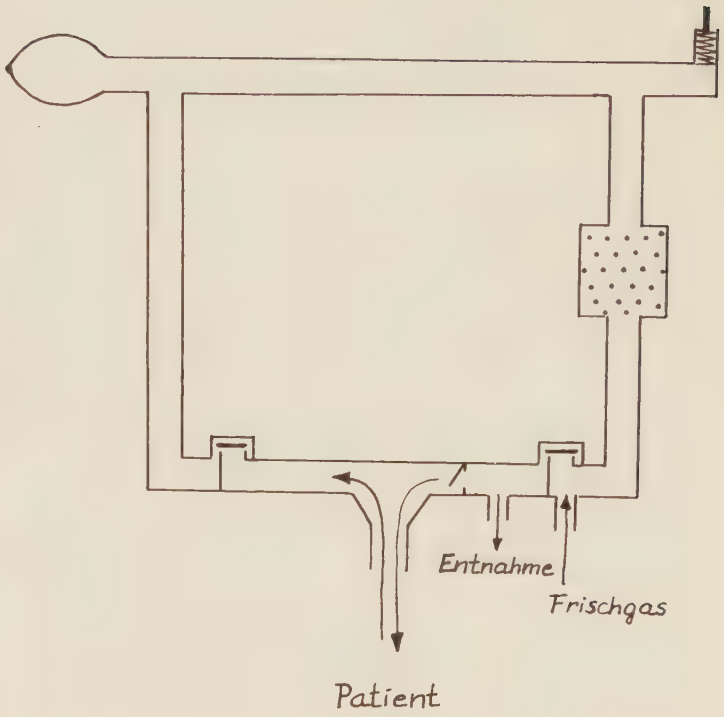




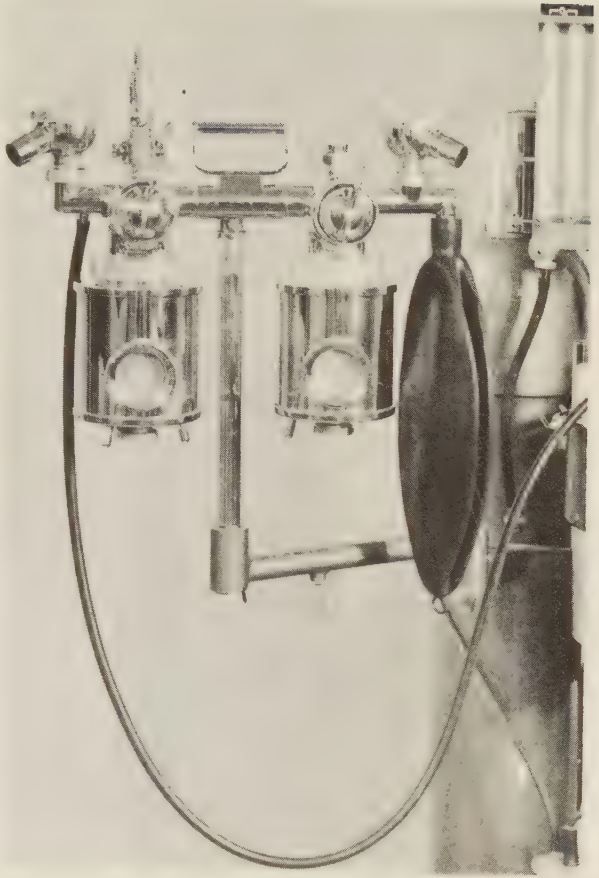


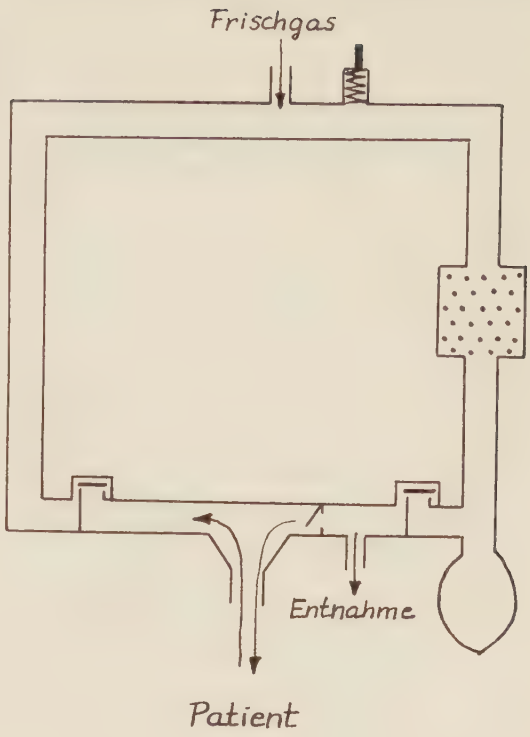
System A



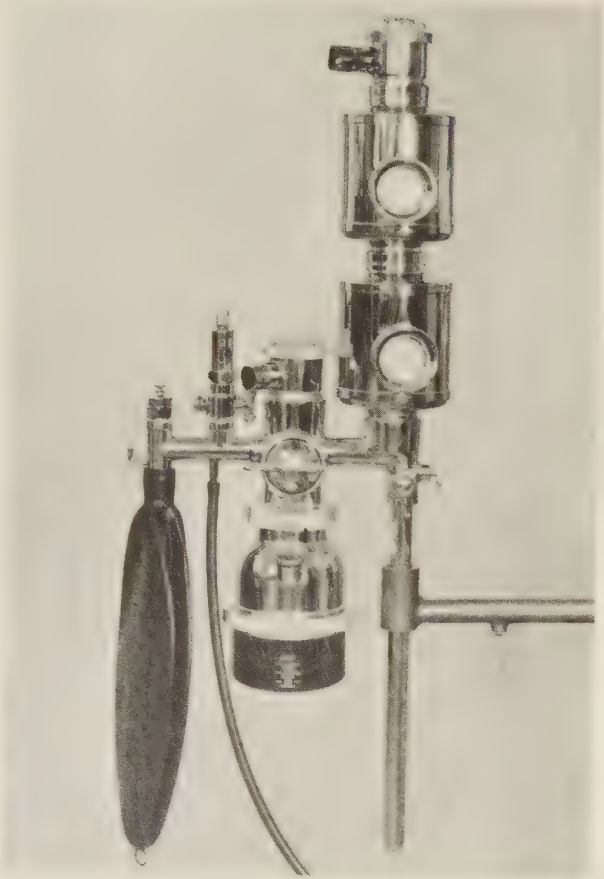


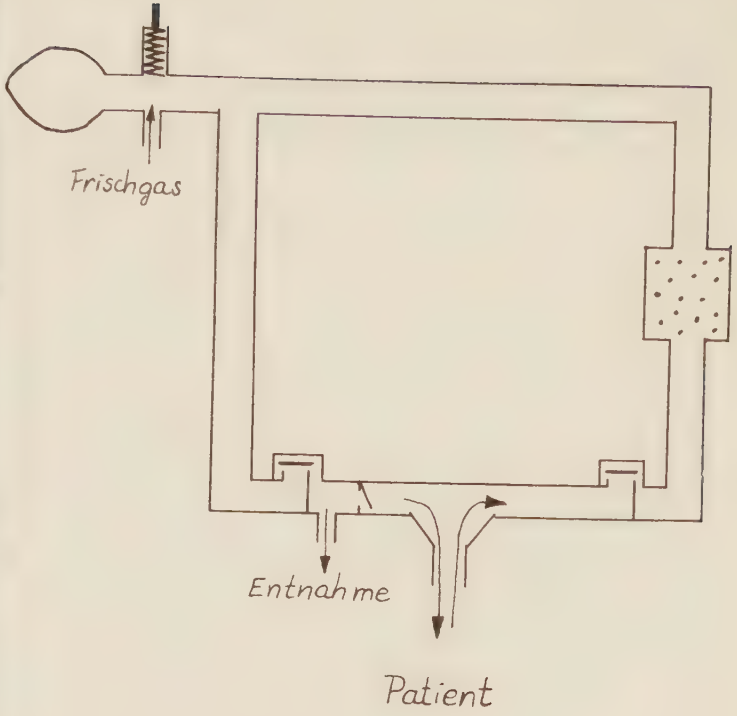
System B



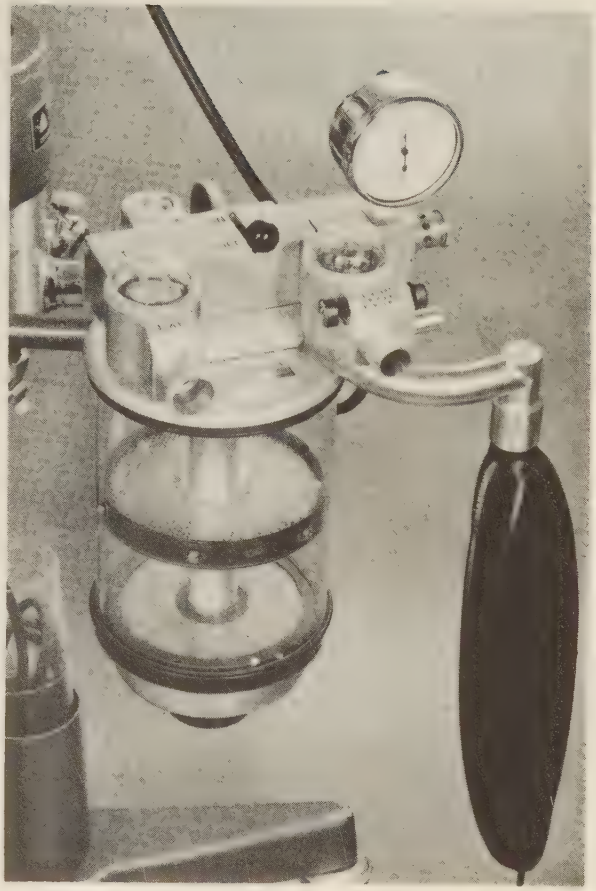


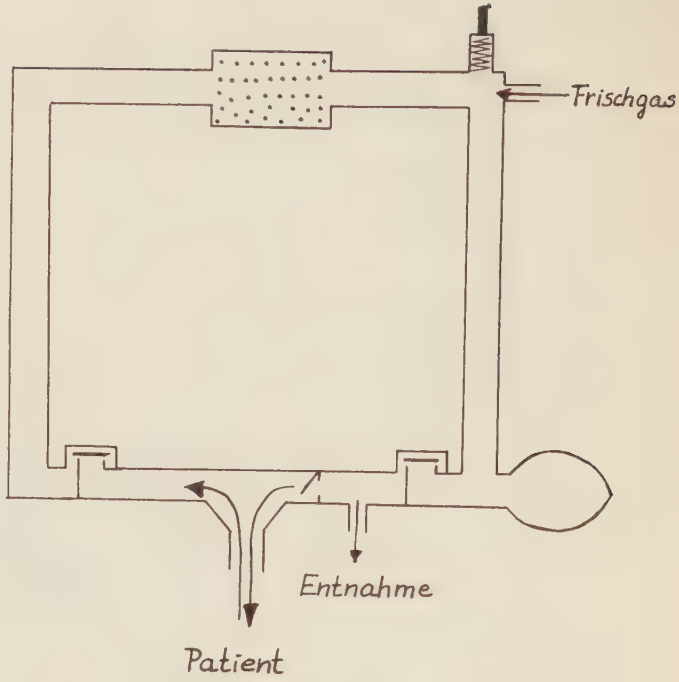
System C



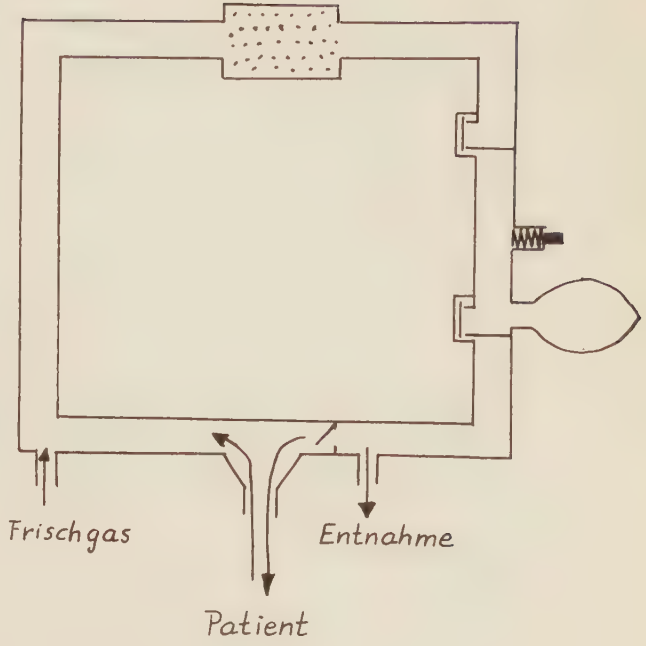


System D

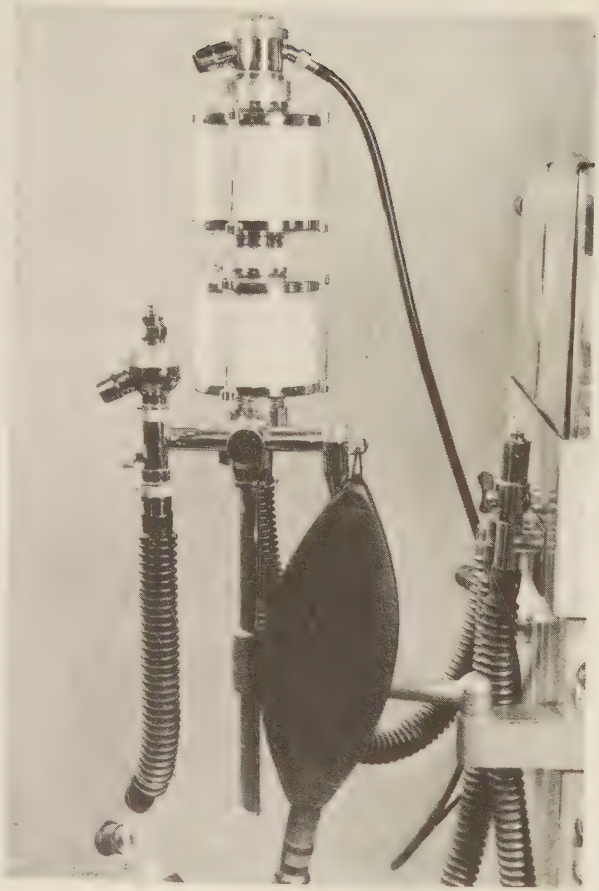


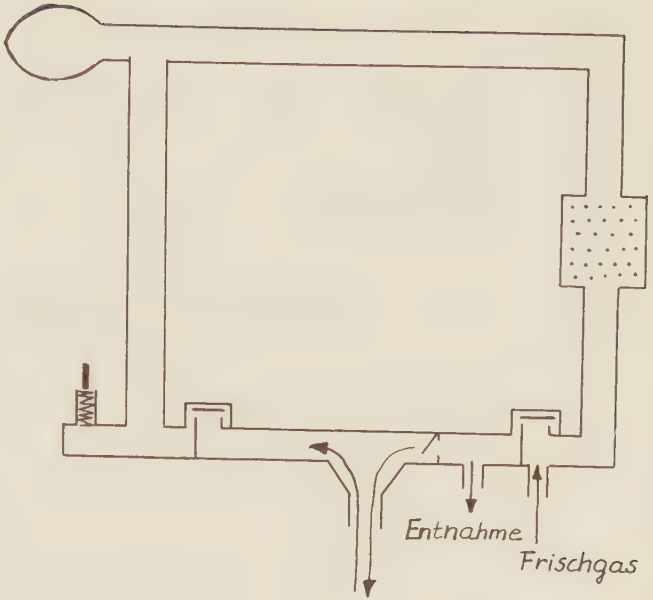


System E



System F





System G

VERSUCHSERGEBNISSE

Kreissystem A

% O_2 = / V_{max} l/min	29,7	25,7	20,0
2	23,4 0,788	13,3 0,519	13,4 0,670
4	26,0 0,875	22,4 0,870	15,6 0,780
6	27,6 0,930	24,0 0,935	18,5 0,927
8	28,1 0,946	24,4 0,950	19,5 0,977
10	28,6 0,963	24,5 0,955	19,9 0,993

Kreissystem B

% O_2 = / V_{max} l/min	29,7	25,7	20,0
2	23,1 0,778	18,5 0,718	14,2 0,710
4	26,4 0,890	23,3 0,908	18,0 0,898
6	27,4 0,922	25,0 0,972	19,3 0,964
8	28,2 0,948	25,5 0,992	19,6 0,980
10	29,0 0,975	25,6 0,997	19,7 0,986

Kreissystem C

% O_2 = / V_{max} l/min	29,7	25,7	20,0
2	22,4 0,755	16,9 0,657	11,5 0,577
4	23,6 0,794	21,0 0,817	14,6 0,730
6	24,8 0,836	22,8 0,887	16,7 0,834
8	27,0 0,910	23,5 0,914	18,1 0,907
10	27,8 0,936	24,0 0,932	18,9 0,946
15	28,4 0,956	24,7 0,960	19,2 0,962

Kreissystem D

% O_2 = / V_{max} l/min	30,3	25,7	20,0
2	21,7 0,715	16,5 0,642	13,9 0,695
4	25,1 0,830	21,0 0,818	15,8 0,790
6	25,9 0,854	22,8 0,886	17,9 0,895
8	26,9 0,887	23,4 0,910	18,7 0,935
10	27,8 0,916	24,2 0,941	19,1 0,955

Kreissystem E

% O_2 = / V_{max} l/min	30,3	25,7	20,0
2	22,4 0,740	17,7 0,690	12,6 0,630
4	26,4 0,872	22,0 0,857	16,5 0,825
6	28,1 0,927	23,1 0,900	18,6 0,930
8	28,6 0,945	24,3 0,945	18,9 0,945
10	28,9 0,955	24,4 0,950	19,5 0,975

Kreissystem F

% O_2 = / V_{max} l/min	30,3	25,7	20,0
2	23,6 0,780	21,1 0,820	14,5 0,725
4	26,7 0,880	24,1 0,936	18,8 0,940
6	27,9 0,920	24,4 0,950	19,7 0,985
8	28,9 0,955	25,3 0,985	19,8 0,990
10	29,1 0,960	25,4 0,990	19,9 0,999
3		22,1 0,860	

Kreissystem G

% O_2 = / V_{max} l/min	30,2	25,7	20,0
4	28,5 0,944	21,9 0,852	17,4 0,871
6	28,7 0,952	23,3 0,908	19,0 0,950
8	29,6 0,980	25,3 0,985	19,7 0,985
10	29,8 0,987	25,6 0,995	19,9 0,995

Herrn Prof. Dr. K. H. Weis danke ich für die Überlassung des Themas und seine wohlwollende Hilfe bei der Ausarbeitung.

Für die Lösung der mathematischen Probleme bin ich Herrn Prof. Dr. Velte, Leiter des Instituts für angewandte Mathematik, und dessen Assistenten zu großem Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Personalien:	Gisela O e k i n g geb. Peukert, geboren am 18. 12. 1942 in Freiburg/Brsg., Eltern: Dr. Ing. Heinz Peukert und Christel Peukert geb. Schlagowski, Konfession: evangelisch
Schulbildung:	1949 bis 1953 Volksschule 1953 bis 1962 Neusprachliches Gymnasium, Abitur
Berufsausbildung:	SS 1963 Studienbeginn an der Universität Würzburg, Medizinische Fakultät, WS 1963/64 Naturwissenschaftliche Vorprüfung an der Universität Würzburg, Ergebnis: befriedigend SS 1965 Ärztliche Vorprüfung an der Universität Würzburg, Ergebnis: gut SS 1968 Medizinisches Staatsexamen an der Universität Würzburg, Ergebnis: gut.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine weiteren Hilfsquellen benutzt habe.
Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich bisher von keiner anderen Seite ein Dissertationsthema zur endgültigen Bearbeitung erhalten habe.

Gisela Oeking

Offset-Druck Gugel, Würzburg
Marcusstraße 10

Offset-Druck Gugel, Würzburg
Marcusstraße 10